Scienza e rivoluzione borghese

I concetti di lavoro e di energia

di Angelo Baracca

Per una nuova analisi storica

Una delle caratteristiche che più colpisce nella descrizione della società totale immaginata da Orwell nel suo romanzo fantapolitico « 1984 », è la perdita di memoria collettiva. Egli descrive una società senza storia, in quanto la « storia » ufficiale propinata ai sudditi viene di continuo riscritta da zelanti funzionari in modo da armonizzarla alla ragion di stato del momento. Ed il controllo assoluto sulle informazioni consente di cancellare agevolmente dalla memoria individuale e collettiva ogni ricordo non solo della storia reale, ma addirittura di quella prefabbricata in precedenza.

Uscito in piena guerra fredda, il romanzo di Orwell venne prevalentemente letto come raffigurazione solo apparentemente avveniristica del regime staliniano in URSS; una minoranza, invece, di lettori e di critici ne colse il messaggio più autentico, legato ad una visione pessimistica delle linee di tendenza di tutte le società industrializzate, ed in tal senso anticipatore dell'unidimensionalità marcusiana.

Nessuno, allora, e nemmeno dopo, venne colto dal dubbio che la distruzione e ricostruzione della storia fosse fenomeno diffuso, e con successo, a livello planetario. Tanto diffuso, e con tale successo, da non indurre il ben che minimo dubbio sulla propria esistenza. Con un tocco in più rispetto alla fantasia di Orwell, che per convincere il lettore dovette immaginare una popolazione atomizzata, coatta, sotto controllo anche fisicamente attraverso la telecamera installata in ogni appartamento, quindi facilmente soggetta alla persuasione. Mentre la storia che realmente veniva riscritta in continuazione, distruggendo la memoria collettiva, riguardava particolarmente categorie selezionate di persone: professori universitari, ricercatori, studenti delle facoltà scientifiche. La crema insomma, secondo l'ideologia corrente, fra gli intellettuali, in quanto portatori di un approccio razionale ed oggettivo alla realtà. Anche dopo la « rivoluzione culturale » degli ultimi anni, che ha aperto larghe brecce nella torre eburnea della scienza neutrale, la riappropriazione della storia del pensiero sceintifico è ancora patrimonio di pochi, un patrimonio per di più parziale ed incompleto. Mentre la ricostruzione di una memoria collettiva, non solo per gli addetti ai lavori, ma anche e soprattutto per il movimento operaio, è condizione necessaria perché il concetto di non neutralità della scienza acquisti tutta la sua ricchezza e corposità, perché si leghi l'acquisizione pratica realizzatasi nel corso delle lotte operaie e studentesche (necessariamente contingente e quindi soggetta al pericolo di distorsioni tipo « uso parziale alternativo della scienza ») ad una conoscenza e quindi coscienza dei processi storici che hanno dialetticamente legato storia della scienza e storia dei rapporti economici e sociali.

Che si tratti di un obiettivo non secondario lo conferma l'analisi dei meccanismi che hanno consentito una generale falsificazione della storia della scienza. Sono meccanismi elementari. Nelle facoltà scientifiche si insegna scienza nello stesso modo con cui la si insegna nelle scuole medie: presentando un quadro armonico e coerente di acquisizioni del sapere, senza farne la storia senza descriverne il processo faticoso e contraddittorio, i rapporti con il divenire della società. Al massimo si scelgono alcuni bersagli da ridicolizzare, come la visione aristotelico-tolemaica del cosmo o la teoria chimica del flogisto, perché ogni storia falsificata deve poter narrare l'ardua ma alla fine ineluttabile vittoria della verità sulla menzogna. Ne esce pertanto, anche se mai esplicitata, una visione del pensiero scientifico in cui, per esempio, la fisica incomincia con Galileo, il quale a sua volta apre la strada a Newton, che cede poi — in un'ideale staffetta — il testimone ad una serie di grandi scienziati che alla fine porteranno la fisica classica al punto giusto per diventare un caso particolare della fisica relativistica di Einstein.

E' sempre dalla stessa matrice, si sviluppa logicamente e coerentemente la fisica atomica, poi quella nucleare, da cui si irradiano anche verso altre discipline i modi di pensare e di operare della meccanica quantistica: che forse appaiono un po' « rivoluzionari », perché abbastanza recenti, ma col principio di complementarità si elimina ogni contraddizione con la meccanica classica, di nuovo sistemata nel rango di verità particolare rispetto ad una verità più generale.

Il divario fra questo stato di cose e quello relativo alla storia tout court, *che per i piú (elementari, scuole medie) di solito è insegnata allo stesso modo della storia della scienza, mentre nelle facoltà umanistiche — anche se non sempre — viene affrontata con strumenti interpretativi più adeguati, è clamoroso, ma ha una sua spiegazione. La grande borghesia, il grande capitale, sanno bene quanto Marx come la scienza sia oggi direttamente forza produttiva, e quindi non possono permettere nemmeno agli addetti ai lavori una comprensione del ruolo della scienza che potrebbe generare ed arricchire il loro antagonismo ai meccanismi di accumulazione capitalistica.*

nell'Inghilterra del XVIII secolo

*Donde la necessità, per il sistema, di un « 1984 » applicato a tutto il pensiero scientifico. Donde, per noi, il compito di demolire il castello di falsificazioni costruite con la complicità più o meno consapevole dell'*establishment *scientifico.*

Da questo punto di vista uno dei sedimenti più fruttuosi del '68 è stato il dibattito all'interno della Società Italiana di Fisica, che ha portato un nucleo significativo di fisici ad affermare ed a perseguire un ricupero della storia della scienza come strumento di conoscenza e di iniziativa politica. Si tratta di un terreno relativamente nuovo per il pensiero marxista, finora affrontato in un'ottica puramente fenomenologica (senza cioè collegare la storia della scienza a quella della società) da studiosi di diversa estrazione come il Kuhn, e sicuramente nuovo per dei ricercatori scientifici.

Ed è facile, pertanto, il tiro a bersaglio da parte del mondo accademico, che ha letto e leggerà i primi risultati del loro lavoro come « superficiali, incompleti, non scientifici », mal nascondendo la propria irritazione per questi intrusi in campi non di loro « competenza ». Mentre questi « intrusi » hanno voluto esplicitamente negare il proprio ruolo settoriale non per produrre pubblicazioni perfette dal punto di vista accademico, ma per fornire al movimento documenti di lavoro, su cui riflettere, discutere. Motivi sufficienti perché Sapere *ospitasse, a partire da questo numero, una serie di articoli che sintetizzano il lavoro finora svolto. Da leggersi appunto non come prodotti confezionati da specialisti, ma come stimoli per la costruzione collettiva di un nuovo sapere.*

G.B. Zorzoli

La scienza modifica il suo metodo e arricchisce i suoi contenuti sotto la spinta dei problemi posti dallo sviluppo economico e produttivo. Nell'Inghilterra della rivoluzione industriale gli ambienti borghesi esprimono esigenze alle quali la scienza accademica non è in grado di rispondere: le nuove figure dei tecnici introducono i concetti e i metodi che nel secolo successivo metteranno la scienza in grado di guidare il progresso tecnico.

La scienza viene comunemente presentata come pura e disinteressata ricerca della verità, che evolve e si struttura di volta in volta per rispondere alle sole domande che sorgono all'interno del suo operare, man mano che essa allarga e approfondisce l'indagine sulla natura.

Ma una tale immagine, sulla quale l' ideologia borghese organizza il consenso a tutti i livelli, copre e mistifica i legami profondi che la scienza ha con la struttura economica e produttiva. In realtà la scienza, nel corso del suo sviluppo, affronta di volta in volta i problemi che le vengono posti dalle esigenze dello sviluppo economico e sociale, i nuovi ambiti di fenomeni che vengono dischiusi man mano che il rapporto instaurato dall'uomo con la natura si modifica insieme al modo storicamente specifico di produrre la base materiale della vita.

Di fatto la « Rivoluzione Scientifica » del XVII sec. avviene in un periodo in cui la borghesia emerge prepotentemente alla ribalta dei rapporti sociali. E significativamente, è una « rivoluzione a metà », che è incapace di rompere fino in fondo con una concezione aristotelica dell'esperienza come illustrazione di ipotesi presupposte sulla struttura dell'universo, e che dà luogo ad una scienza ancora profondamente imbevuta di presupposti metafisici; ed è solo nel XVII secolo che la scienza si libera progressivamente di queste implicazioni metafisiche.

La situazione economico-sociale si presenta con caratteristiche complesse ma marcate. Nell'Inghilterra, ormai regina dei mari e padrona delle vie commerciali, la nascente borghesia ha già compiuto nella seconda metà del '600 la rivoluzione politica; la trasformazione dei rapporti di produzione è già iniziata nelle campagne, nelle attività commerciali, come base per l'imminente decollo industriale [1]. La Francia mantiene invece una struttura ancora essenzialmente feudale, contro la quale la borghesia preme però in modo sempre più irresistibile. Man mano che ci si sposta verso l'Europa orientale si incontrano poi strutture sociali sempre più arcaiche: sono i paesi in cui il capitalismo e l'industria arriveranno più tardi.

La tesi che qui vogliamo discutere è che l'emancipazione della scienza, la formazione di concetti e principi che vanno realmente al di là della scienza newtoniana avvengono negli ambienti dei tecnici, che sono a diretto contatto
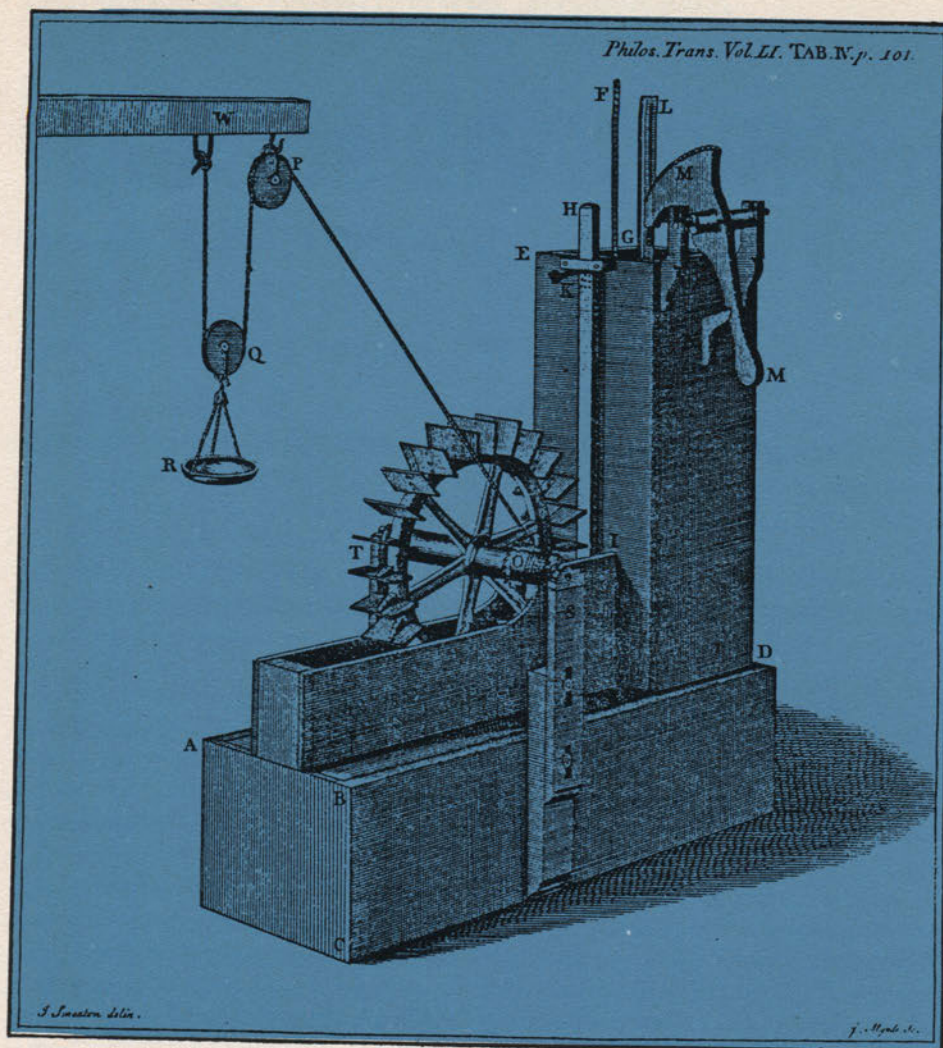
Fig. 1 *Modello in scala di ruota ad acqua col quale Smeaton eseguí le sue misure. Il galleggiante F fornisce una misura della quantità d'acqua sollevata dalla pompa M; l'asta H permette di regolare il flusso dell'acqua; il lavoro compiuto viene misurato per mezzo del sollevamento di un peso posto in R. In questa disposizione la ruota era azionata da sotto, ma l'aggiunta di un semplice dispositivo consentiva di fare uscire l'acqua dall'alto del serbatoio.*

con le nuove esigenze poste dalla rivoluzione industriale in Inghilterra.

Newton e la realtà del suo tempo

E' diffusa la convinzione che la meccanica di Newton corrisponda più o meno a quella (non relativistica) che oggi conosciamo. Ma in realtà non è cosí. E non solo per i presupposti teologici, l'uso di ipotesi, le caratteristiche metodologiche, aspetti questi sui quali non possiamo dilungarci in questa sede; ma anche per il mancato sviluppo di certi concetti fisici. In primo luogo mancano, nella meccanica di Newton, concetti analoghi a quelli odierni di lavoro e di energia. In secondo luogo, non trovano posto nella sua opera principi di conservazione; in base alla concezione corpuscolare dell'Universo con una causa prima che non è meccanica ma bensí divina, e alla negazione dell'esistenza di corpi assolutamente elastici, egli afferma (in contrapposizione a Cartesio e a Leibniz) che in ogni urto si perde qualcosa del moto [4, 5].

Ad un esame attento, il fatto che nella fisica di Newton non trovino posto né i concetti di lavoro e di energia, né i principi di conservazione non deve affatto meravigliare; ed è anzi più che naturale, se si pensa alla struttura produttiva dell'Inghilterra della fine del '600.

In Inghilterra, a differenza che sul Continente, i contadini sono liberi, proprietari o fittavoli su piccoli appezzamenti di terreno. In questo ambiente si sviluppa anche la maggior parte della produzione industriale inglese del tempo, la cosiddetta « industria domestica » della lana: specialmente in alcune regioni ogni famiglia possiede un filatoio e un telaio con i quali produce filati e tessuti di lana che poi vende nei mercati vicini; il possesso o l'affitto di un pezzo di terra e di qualche capo di bestiame garantisce in ogni modo un minimo di mezzi di sussistenza. In un'attività produttiva di questo tipo il lavoratore possiede ancora i mezzi di produzione ai quali lavora individualmente. In queste condizioni (ed anche se ben presto da un lato i « mercanti-imprenditori » forniranno al produttore la materia prima e diventeranno spesso proprietari effettivi dei mezzi di produzione, e dall'altro la famiglia assumerà a sua volta lavoratori estranei remunerati per le ore lavorative effettivamente svolte) è facile capire che non può mai nascere l'esigenza di valutare il rendimento di una macchina, l'energia necessaria a farla funzionare ecc. Queste esigenze non si presenteranno a nessuno che viva in una società nella quale si produce in questo modo.

La rivoluzione industriale e i suoi riflessi culturali

La situazione cambia radicalmente con l'imponente sviluppo delle forze produttive e la radicale trasformazione dei rapporti di produzione nei decenni che seguono. Il fatto saliente della prima metà del XVIII sec. in Inghilterra è la graduale instaurazione di rapporti di produzione capitalistici. Non possiamo seguire in dettaglio questi sviluppi. Vogliamo però richiamare un punto cruciale. Nasce in questo periodo la figura del lavoratore salariato; egli dispone solo della propria capacità lavorativa, o forza-lavoro, e la vende al capitalista, il quale la paga quanto basta perché essa si mantenga e si riproduca. Il lavoro dell'operaio produce valore, ma non cessa però quando egli ha prodotto un valore pari al salario che gli viene pagato. Supponiamo, per esempio che « per rinnovare giornalmente la sua forza-lavoro, egli debba

produrre un valore giornaliero di tre scellini, al che egli perviene lavorando sei ore al giorno. Ma ciò non lo rende incapace di lavorare dieci o dodici o più ore al giorno. Pagando il valore giornaliero o settimanale della forza-lavoro del filatore, il capitalista ha acquistato il diritto di usare questa forza-lavoro per tutto il giorno e per tutta la settimana. Perciò, egli lo farà lavorare, supponiamo, dodici ore al giorno. Oltre le sei ore che gli sono necessarie per produrre l'equivalente del suo salario, cioè il valore della sua forza-lavoro, il filatore dovrà dunque lavorare altre sei ore, che io chiamerò sopralavoro, e questo sopralavoro si incorporerà in un plusvalore e in un sopraprodotto. ... E' su questa forma di scambio tra capitale e lavoro che la produzione capitalistica o il sistema del salario è fondato, e che deve condurre a riprodurre continuamente l'operaio come operaio e il capitalista come capitalista »[6], cioè a riprodurre il rapporto capitalistico stesso.

Il capitalista ha due modi per aumentare il profitto: allungare la giornata lavorativa, oppure aumentare la produttività del lavoro. Se la prima soluzione cozza contro limiti naturali, la seconda diviene invece possibile con l'introduzione delle macchine. Le macchine, usate per questo scopo, sono all'origine della rivoluzione industriale e pongono ben presto pressanti esigenze di nuove fonti di energia. Il ruolo delle macchine è di fatto determinante per superare le strozzature che impediscono l'espansione economica, a cominciare dall'irregolarità delle fonti di energia motrice e dalla scarsità di legna. Il mezzo più immediato e naturale per sopperire alle nuove esigenze energetiche poste dallo sviluppo industriale in Inghilterra è infatti costituito per lungo tempo dall'utilizzazione della spinta dell'acqua attraverso i dislivelli naturali dei fiumi a carattere torrentizio, o per mezzo di dislivelli creati artificialmente. L'uso dei mulini ad acqua era inveterato, e ben presto il metodo viene usato anche per mettere in moto i macchinari delle prime filande e fabbriche di grandi dimensioni, trasformandosi nel corso del XVIII sec. da una tecnica artigianale in una tecnologia scientifica. I due tipi principali di ruote ad acqua sono quelle azionate da sotto, nelle quali cioè il flusso dell'acqua colpisce le pale inferiori, e quelle azionate da sopra, cioè alimentate dalla caduta dell'acqua sulle pale superiori e dall'azione del suo peso.

I motori idraulici divengono di uso comune nell'industria inglese; vengono costruite macchine a cilindri i cui pistoni sono azionati da ruote ad acqua. La rivoluzione industriale inglese del XVIII sec. si basa ai suoi inizi quasi interamente sui mulini ad acqua. L'industria del cotone, che dà l'avvio alla rivoluzione industriale e che più di ogni altra impiegherà macchine a vapore, ancora nel 1830 trarrà un quarto della potenza necessaira dall'acqua, e un settimo nel 1850; nell'intera industria tessile ancora nel 1839 vi sono nel Regno Unito 3.051 macchine a vapore e 2.230
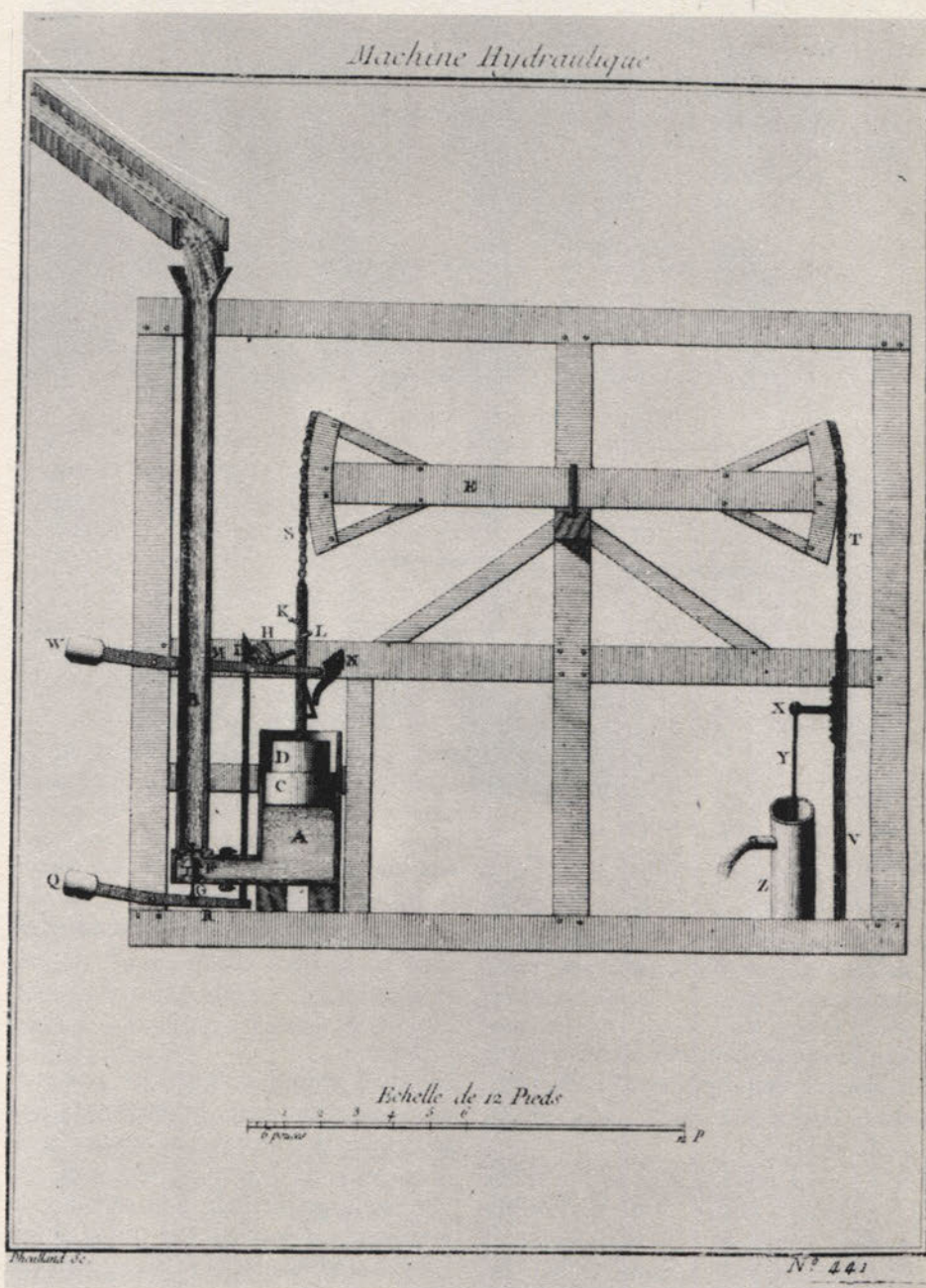
Fig. 2 *Una « macchina a colonna d'acqua » dei primi del '700. Questa macchina, molto diffusa per tutto il secolo aveva struttura essenzialmente identica a quella della macchina a vapore, ma il pistone veniva dalla pressione di una colonna d'acqua anziché dal vapore; lo scarico dell'acqua creava poi nel cilindro una depressione che consentiva alla pressione atmosferica di abbassare il pistone C.*
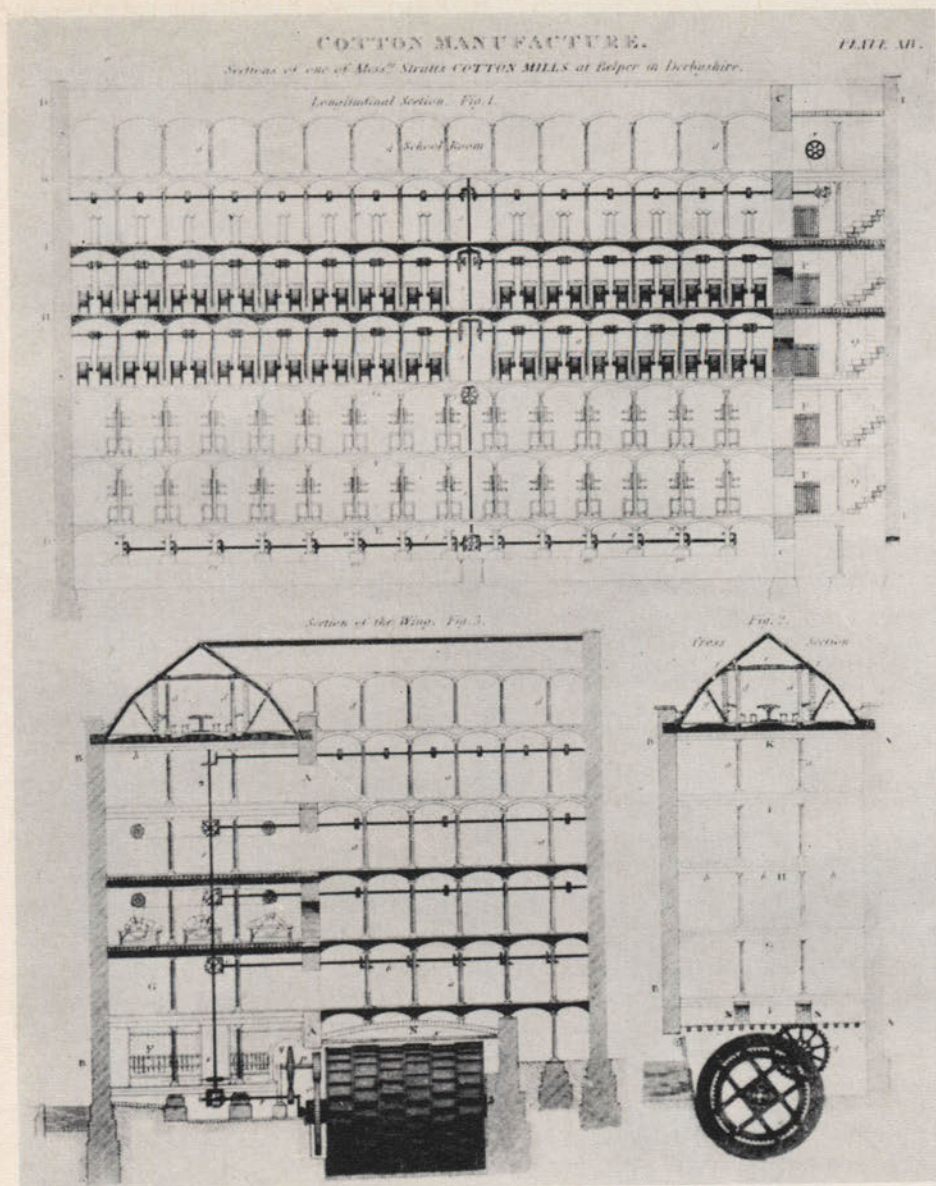
Fig. 3 *Industria cotoniera azionata da una ruota ad acqua durante la rivoluzione industriale. Il moto della ruota era trasmesso alle cardatrici e filatrici, poste in diversi piani dell'edificio, per mezzo di alberi di trasmissione verticali e orizzontali, cinghie e puleggie.*

ruote ad acqua, benché i cavalli vapore complessivi delle prime (74.094) eccedano largamente quelli delle seconde (27.983).

Ma a poco a poco si impone l'esigenza di sviluppare nuove fonti di energia che non presentino gli inconvenienti delle localizzazioni forzose o dei capricci atmosferici. La macchina a vapore è già stata inventata (Savery, 1968; Newcomen, 1712), ma si diffonde e viene perfezionata sotto la spinta dello sviluppo industriale. Risulta determinante la sostituzione della legna e dell'acqua con il ferro e il carbone.

In quali ambiti culturali si ripercuotono maggiormente le trasformazioni in atto? La cultura e la scienza accademiche sono legate ad ambienti che per un lungo periodo non saranno direttamente investiti. Per tutto il secolo il progresso scientifico seguirà più che trainare l'innovazione tecnica; quest'ultima, come poi vedremo meglio, avviene per ora indipendentemente dal livello delle conoscenze scientifiche, in ambienti che ben poco hanno a che fare con quelli accademici.

Non che il mondo accademico sia indifferente al dinamismo economico e produttivo, ma lo riflette in modo distaccato e alienato. La scienza accademica rimane nel '700 « Filosofia Naturale »; e tuttavia profondamente significativa è la netta divaricazione di atteggiamenti tra l'ambiente inglese e quello francese. Gli scienziati inglesi riflettono la rivalutazione tutta borghese dell'attività produttiva ed esprimono una scienza di impostazione empirico-sperimentale, fondata cioè sugli esperimenti come fondamento e verifica di modelli meccanici intuitivi. In Francia la scienza newtoniana viene accettata come superamento di quella puramente speculativa di Cartesio, ma viene sviluppata piuttosto in senso matematico-razionale, nell'illusione illuministica che per rinnovare la vita sociale sia sufficiente l'inserimento di una diversa cultura scientifica nel medesimo modo di produzione artigianale; la meccanica si sviluppa qui come « meccanica razionale » e trova i suoi più brillanti esponenti in Lagrange, d'Alambert, Laplace ecc. (v. l'articolo di A. Rossi in *Sapere,* ottobre 1971).

In Inghilterra è proprio quel modo di produrre che sta cambiando rapidamente. La classe sociale che sta iniziando la sua ascesa sente l'insufficienza e la estraneità del mondo e della scienza accademici e l'esigenza di nuove sedi in cui forgiare una cultura nuova, più legate con i problemi reali. Si assiste così nel corso di tutto il secolo alla nascita spontanea di società e circoli privati, di accademie dissidenti, dove si incontrano i borghesi, dagli industriali ai nuovi tecnici; ne sono membri Watt, Ewart, Boulton, Weedgwood, Wilkinson ecc. Innumerevoli corsi pubblici vengono tenuti al di fuori delle università sugli argomenti più vari (ma prevalentemente in « Filosofia Naturale » e in chimica) da scienziati viaggianti, la cui educazione varia dagli autodidatti a quelli con regolare laurea; essi portano con sé una notevole attrezzatura sperimentale, con la quale illustrano i loro corsi. Vengono programmati corsi appositi per chi è impegnato nell'industria e nella produzione.

In questi ambienti si formano nuove figure di tecnici, i quali devono soprattutto saper risolvere problemi pratici, costruire macchine, alzare dighe o di-

slivelli sui fiumi per far funzionare le ruote ad acqua ecc. Gli inventori delle macchine per filare e per tessere vengono dal popolo. Gli ingegneri che sono impegnati nella costruzione e nel perfezionamento dei macchinari e delle fonti di energia non hanno di solito una preparazione accademica nel vero senso della parola, anche se a volte sono figure di grande levatura scientifica, che però applicano e sviluppano le conoscenze scientifiche in modo assolutamente nuovo e originale. Dal loro ambiente, da alcune figure di primo piano come Smeaton, Watt, Ewart, vengono i contributi che portano alla sistemazione della meccanica come scienza pratica e alla nascita della termodinamica.

Fig. 4 *Questa macchina a vapore di Newcomen, eretta nel 1760 per pompare acqua da una miniera a Fairbottom, è stata smantellata nel 1926 e portata al Museo Ford a Dearborn (USA).*

John Smeaton (1724-92)

Smeaton eccelle forse per levatura fra i tecnici dell'epoca. Viene eletto membro della Royal Society, dove legge lavori sulla meccanica, sugli strumenti scientifici, sull'astronomia, i quali testimoniano dell'ampiezza dei suoi interessi scientifici. E' la figura principale nella prima società degli ingegneri fondata, particolare significativo, nel 1771 e che viene chiamata dopo la sua morte « Smeatonian Society ». Studiando la macchina a vapore su modelli in scala (caratteristica, come vedremo, del suo metodo) ne raddoppia il rendimento. Nel 1749 costruisce dei mantici azionati da macchine idrauliche a cilindri per Roebuck, industriale dalle molteplici attività, primo socio e finanziatore di Watt. Troviamo poi Smeaton costruttore di ruote idrauliche e macchine a vapore.

Verso la metà del secolo egli avvia uno studio sistematico sulle ruote ad acqua col preciso scopo di determinare

« ... il carico che una ruota dovrebbe avere per lavorare col massimo vantaggio... conoscendo l'effetto che dovrebbe produrre, e la velocità che dovrebbe avere nel produrlo » [7].

La motivazione che muove Smeaton potrebbe essere più chiara. Egli esegue accurate misure su un modello in scala ridotta di ruota ad acqua, azionandolo sia da sotto che da sopra, ed arriva a stabilire che il rendimento massimo fornito nel secondo caso è doppio che nel primo. Nel 1813 Peter Ewart, un altro ingegnere di primissimo piano, scriverà del lavoro di Smeaton che

« ... Sebbene le ruote azionate da sotto fossero, circa 50 anni fa, le più diffuse, esse si incontrano ora raramente, ed ogni volta che l'economia della potenza è uno scopo, non se ne costruiscono di nuove ».

E' probabile che i miglioramenti portati da Smeaton alla costruzione delle ruote ad acqua abbiano addirittura ritardato l'impiego massiccio della macchina a vapore.

Dovendo dunque misurare il lavoro compiuto dalle ruote ad acqua nei suoi esperimenti, Smeaton è costretto a precisare nelle prime pagine del suo lavoro questo concetto, superando in un sol colpo le secche dello sterile dibattito accademico:

« ... poiché sarei obbligato a fare uso di un termine che fino ad oggi è stato causa di discussioni, ritengo necessario assegnare il senso nel quale intendo usarlo; e nel quale secondo me esso è usato dalla *meccanica pratica.*

La parola ' Potenza ', come è usata dalla *meccanica pratica,* significa secondo me l'applicazione di forza, gravitazione, impulso, o pressione in modo da produrre moto: e per mezzo di forza, gravitazione, impulso, o pressione composta con moto la capacità di produrre un *effetto*...

Il sollevamento di un peso, relativo all'altezza a cui esso può essere sollevato in un dato tempo, è la misura più appropriata di potenza o, in altre parole, se si moltiplica il peso sollevato per l'altezza a cui esso può essere sollevato in un dato tempo, il prodotto è la misura della potenza che lo solleva; e conseguentemente, sono uguali tutte quelle potenze, i cui prodotti, costituiti da queste moltiplicazioni sono uguali... » [7] (corsivi dell'autore).

Smeaton calcola dunque la potenza come noi la intendiamo oggi, cioè il lavoro compiuto nell'unità di tempo, che nel suo caso è il prodotto del peso per l'altezza a cui esso viene sollevato in un dato tempo per azione della ruota ad acqua.

E' accanto a questo concetto, fa la sua comparsa anche l'idea della conservazione dell'energia meccanica. Essa appare, è vero, in forma embrionale e

non viene enunciata esplicitamente; ma, cosa che ci sembra molto rilevante, essa viene di fatto utilizzata nella pratica ed è *completamente svincolata* dalle speculazioni metafisiche in cui languiva il dibattito accademico. Studiando il rendimento delle ruote azionate da sopra, Smeaton è infatti costretto a confrontare i due tratti nei quali l'acqua cade liberamente, azionando le pale della ruota: per fare questo egli suppone esplicitamente che l'energia cinetica acquistata in caduta libera sia uguale al lavoro che l'acqua compie azionando le pale attraverso un uguale dislivello; tradotto in termini moderni ciò significa che, in assenza di attriti, quello che conta è solo il dislivello complessivo, cioè la differenza di energia potenziale.

« Ragionando senza esperimento, si potrebbe essere portati ad immaginare, che comunque diverso sia il modo di applicazione, tuttavia ogni volta che la stessa quantità d'acqua discende perpendicolarmente attraverso lo stesso spazio, la potenza effettiva naturale sarebbe uguale;... ... si supporrebbe perciò, che un pollice cubo d'acqua, lasciato cadere per uno spazio di 30 pollici, e incidente là su un altro corpo, sarebbe capace di produrre un uguale effetto per collisione, come se lo stesso pollice cubo fosse disceso attraverso lo stesso spazio con un moto più lento e avesse prodotto i suoi effetti gradualmente; perché in entrambi i casi la gravità agisce su un'uguale quantità di materia, attraverso uno spazio uguale... [8].

Questo accadrebbe se il corpo che cade urtasse elasticamente; ma in pratica parte dell'energia acquistata nella caduta va perduta nella deformazione che l'acqua subisce nell'urto inelastico sulle pale. Questa considerazione contiene una prescrizione per aumentare il rendimento delle ruote idrauliche: l'acqua deve arrivare sulle pale e abbandonarle con una differenza di velocità minima rispetto ad esse, in modo da ridurre al minimo l'inelasticità dell'urto. Vedremo quale sia stata l'enorme importanza di questa prescrizione.
Si nota anche in queste considerazioni il limite maggiore di Smeaton. Nella incapacità di connettere questa perdita di energia alla produzione di calore si rivela la sua incapacità di uscire dall'ambito del meccanicismo newtoniano.

Fig. 5 *La macchina a vapore brevettata nel 1784 da Watt per convertire il moto alternativo del pistone in moto rotatorio; A, caldaia; B, cilindro; C, condensatore separato; D, pompa.*

Questo salto sarà compiuto pochi anni dopo da Watt.

James Watt (1736-1819): la nascita della termodinamica

La macchina a vapore era disponibile dall'inizio del secolo. Ma solo quando le esigenze produttive richiedono il suo impiego massiccio emerge con chiarezza la ristrettezza dell'orizzonte della meccanica per i nuovi fenomeni.
Per James Watt la macchina a vapore non è un interesse tecnico occasionale. Più volte la sua molteplice attività si volge a problemi nevralgici e decisivi per lo sviluppo del paese. Nel 1768 collabora al progetto del canale dal Forth al Clyde, che taglia la Scozia tra Glasgow e Edimburgo. Diffonde il metodo chimico di candeggio dei tessuti inventato da Berthellot. Nel 1782 riconosce l'importanza dell'invenzione del metodo del pudellaggio per purificare la ghisa.
Molto vasti sono pure la sua cultura e i suoi interessi. Entra come « mantenitore » di strumenti nell'Università di Glasgow, in un ambiente, quello scozzese, molto più vivace e aperto al rinnovamento e alle istanze pratiche che non quello delle università inglesi. Watt diviene amico di alcuni tra i maggiori scienziati. Compie ricerche sulla composizione di varie sostanze, tra cui l'acqua, nello stesso periodo in cui se ne occupano Cavendish e Priestley. Nelle ricerche sulla macchina a vapore giunge, forse insieme al chimico Black, alla scoperta dei calori specifici e dei calori latenti.
Le innovazioni da lui portate alla macchina a vapore richiederebbero una discussione dettagliata che esula dai limiti di questo scritto. Lo storico brevetto del 1769, con l'introduzione del condensatore separato, una camera nella quale si condensa il vapore evitando così di raffreddare il cilindro nel quale avviene l'espansione, pone in netta evidenza la presenza di due sorgenti di calore a temperatura diversa. Il fenomeno del passaggio di calore da un corpo caldo a uno freddo si intreccerà d'ora in poi con l'altro fenomeno, che ora emergerà gradualmente, dell'impossibilità di trasformare integralmente calore in lavoro: è solo grazie alla macchina a vapore che questi processi diventano due aspetti di un medesimo
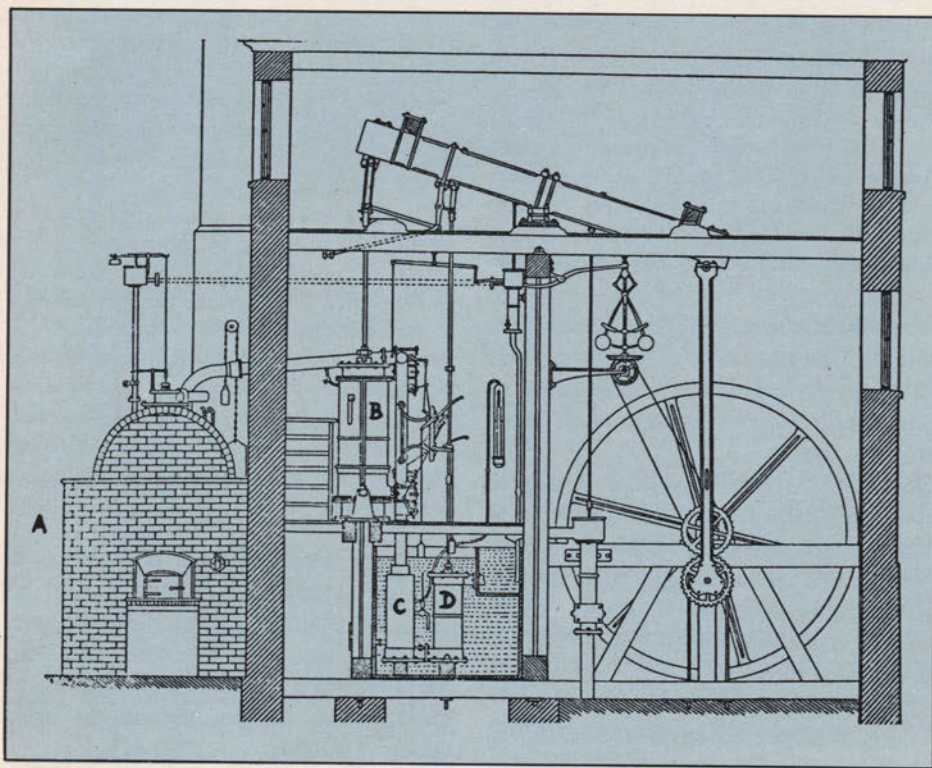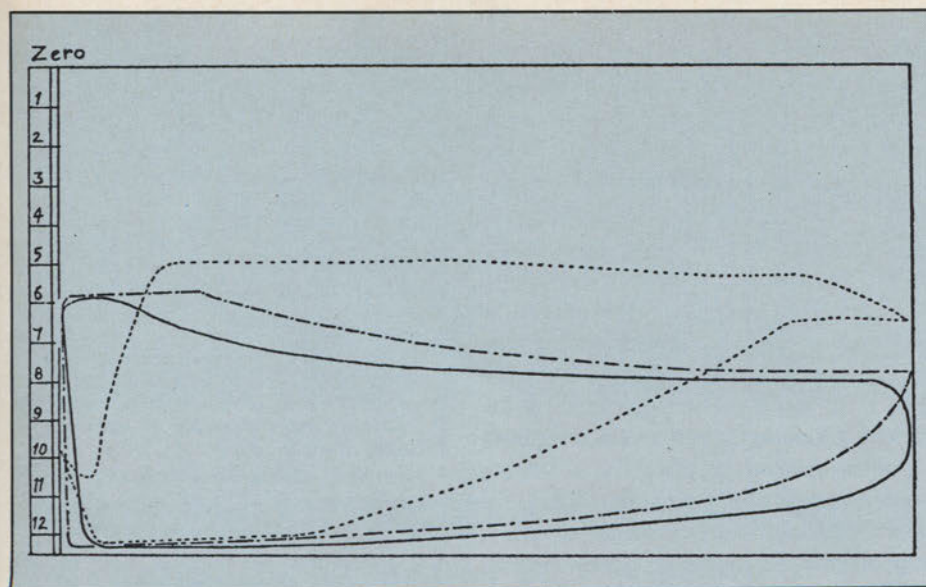
Fig. 6 *Diagrammi indicatori ottenuti nel 1803; i diversi diagrammi corrispondono alla medesima macchina con diverse modalità di apertura delle valvole: questo consentiva di individuare il funzionamento che forniva il rendimento più elevato.*

fenomeno.
Sarebbe erroneo pensare che la macchina di Watt soppianti facilmente tutte le altre grazie alla sua indubbia superiorità. Essa presenta notevoli difficoltà costruttive, soprattutto per l'alesatura del cilindro. Smeaton, che realizza un'alesatrice nel 1769, considera la macchina di Watt troppo difficile da costruire; solo nel 1775 il proprietario di ferriere Wilkinson usa un trapano che aveva costruito per l'alesatura degli affusti dei cannoni e che permette perciò di alesare grandi cilindri con discreta precisione; si potrebbe avanzare l'ipotesi che una società che non usi cannoni e attrezzi di metallo, non sarebbe forse arrivata a realizzare la macchina a vapore. Vi è poi poca chiarezza sulle prestazioni delle varie macchine, sul loro rendimento, consumo ecc. A parte il maggior costo, la macchina di Watt sopravanza tecnologicamente il livello dell'industria del tempo, così come tutta l'opera di Watt rompe realmente con i limiti del meccanicismo newtoniano. E' un fatto comunque che i concorrenti prosperano, costruendo sia vecchi tipi di macchine molto inferiori, che macchine nuove plagiate più o meno da quelle di Watt; questi è costretto, insieme all'industriale Boulton col quale è associato dal 1774, ad intentare molti processi per difendere il brevetto.
E' inoltre significativo che fino a circa il 1780 la macchina a vapore venga utilizzata solo come pompa per sollevare acqua e alimentare le ruote ad acqua. Il già citato Wilkinson commissiona a Watt la prima macchina destinata ad un uso diverso. E Watt è in effetti il primo ad applicare la macchina a vapore direttamente sui macchinari per generare un moto rotatorio (brevetto del 1784, v. fig. 5).
Il moto alternativo della macchina è anzi ritenuto un inconveniente e si moltiplicano i tentativi, sia pure poco fruttuosi, di costruire macchine direttamente ruotanti; vi è anche un brevetto di Watt del 1782.
Comunque, con l'uso della macchina per azionare direttamente i macchinari il concetto meccanico di potenza e le tecniche per misurarla si dimostrano insufficienti. Il problema di misurare la potenza erogata dalla macchina e di adeguarla al carico diviene pressante dal momento che, per esempio, a Boulton e Watt deve essere pagato, per il brevetto del 1769, un premio proporzionale alla potenza della macchina; senza contare che i macchinari industriali sono soggetti a innovazioni continue. Finché la macchina funziona come una pompa la potenza fornita viene misurata, col metodo di Smeaton, tramite la quantità d'acqua che viene pompata nel serbatoio. Ma il funzionamento di un filatoio o di un telaio non può venire schematizzato in termini di sollevamento di un peso. Si è ormai pienamente nel campo della termodinamica e sono necessari nuovi concetti e nuovi metodi. Fin dai primordi della macchina a vapore era divenuto naturale paragonare la potenza di una macchina col numero di cavalli che essa poteva sostituire: nasce così il « cavallo vapore », il cui valore rimane piuttosto fluttuante finché Watt lo fissa in 33.000 libbre per piede al minuto. Ma il problema di adattare la macchina al carico richiede un grosso passo avanti; tra l'altro, data la difficoltà di prevedere la potenza dissipata dai macchinari, è necessario misurare la potenza erogata dalla macchina mentre è in funzione. Il problema viene risolto da Watt e dai suoi collaboratori nell'ultimo decennio del secolo. Essi dotano il cilindro della macchina di una valvola la quale misura la pressione al suo interno e ne riporta il valore tracciando con una punta scrivente una linea in senso verticale su un foglio, il quale a sua volta si muove alternativamente in senso orizzontale sincronicamente col moto del pistone. Gli inventori si devono essere accorti ben presto che l'area compresa all'interno della curva chiusa così ottenuta, che chiamano « diagramma indicatore », è proporzionale al lavoro compiuto dalla macchina in un ciclo; nasce così il diagramma nel piano pressione-volume e, con esso, il concetto di lavoro termodinamico.

Da Watt a Carnot

Le esigenze poste dallo sviluppo e dalle trasformazioni dell'industria hanno dunque allargato enormemente l'ambito dei fenomeni e modificato profondamente il modo di considerarli. I problemi pratici spingono a superare le dispute metafisiche in cui è ancora in parte invischiata la scienza accademica. Anche la precisione tecnica e sperimentale diventano una necessità solo con la rivoluzione industriale: la fisica non si basa su un metodo realmente quantitativo prima della seconda metà

del '700; il tornio e la meccanica di precisione nascono dalla tecnica di costruzione degli orologi, necessari per la misura della longitudine nella navigazione. Sull'onda dell'interesse per i gas, la chimica diviene la scienza guida a cavallo tra i due secoli.

Ma per capire il passaggio da Watt allo studio di Sadi Carnot del 1824 è necessario rendersi conto che c'è di mezzo la rivoluzione della borghesia francese. In Francia, infatti, nel quadro dell'ideologia illuministica, la meccanica razionale aveva assunto l'aspetto di scienza della « macchina celeste ». Ma la situazione cambia verso la fine del secolo, quando la borghesia comincia ad esprimere le proprie esigenze. Nella Scuola Militare di Mézieres si sviluppano interessi più tecnici. Lazare Carnot (padre di Sadi Carnot) nel suo trattato del 1783 si propone esplicitamente di reinserire nella meccanica la scienza delle macchine: in esso si usa la formula attuale in cui la somma di energia potenziale ed energia cinetica uguaglia il « momento totale di attività » e si riprende la prescrizione di Smeaton di evitare urti tra le parti delle macchine.

La rivalutazione borghese della scienza si impone con la rivoluzione. Chiusa l'Accademia, legata alla cultura del passato, la Convenzione fonda l'École Polytechnique, che rimarrà la sede di elaborazione di una cultura nuova. La difesa della Repubblica dall'invasione straniera viene affidata agli scienziati, e Lazare Carnot è l'« artefice della vittoria ». Egli è il solo membro del Comitato di Salute Pubblica a sopravvivere alla reazione termidoriana e rimarrà figura di primo piano anche durante l'Impero, vera e propria società tecnocratica. La Francia diviene per vari decenni la nazione all'avanguardia in campo scientifico.

In questo contesto si inserisce l'opera di Sadi Carnot del 1824, *Riflessioni sulla forza motrice del fuoco*. Essa si apre con l'esplicita dichiarazione che la meccanica, se è sufficiente per studiare le ruote ad acqua e le macchine tradizionali, non basta invece a comprendere la macchina a vapore. Determinante appare nello studio di Carnot l'eredità di tutte le realizzazioni tecniche che l'hanno preceduto. L'idea di « caduta di calorico » sembra mutuata direttamente dall'analogia idraulica. Il concetto di macchina reversibile era pure stato usato nello studio delle macchine idrauliche. Il criterio fondamentale che gli scambi di calore avvengano sempre fra corpi alla stessa temperatura è analogo al criterio di Smeaton che l'acqua abbia velocità il più possibile vicina a quella delle pale.

Il lavoro di Sadi Carnot, l'atto ufficiale di nascita della termodinamica, ha dunque radici e motivazioni che vanno ben al di là di quelle puramente scientifiche. Quando Carnot studia dal punto di vista teorico le macchine a vapore (con lo scopo dichiarato di migliorarne il rendimento) queste sono divenute espressione del maggiore potere pratico dell'uomo sulla natura, sono entrate ormai a far parte, sull'onda della rivoluzione industriale, dell'ambito dei fenomeni considerati naturali. Ma le trasformazioni produttive e le nuove realizzazioni tecniche hanno realmente ampliato e modificato i fenomeni che si presentano all'uomo. Il principio di conservazione dell'energia è da poco stato formulato, e già è evidente l'insufficienza dell'ambito meccanico. Ma la sua generalizzazione, il « primo principio » della termodinamica, verrà molto dopo la formulazione del « secondo principio ». Infatti, la necessità di nuove fonti di energia ha posto come indilazionabile il problema pratico di trasformare calore in lavoro; il problema inverso della trasformazione di lavoro meccanico in calore è molto piú astratto: è vero che Rumford ha scoperto già nel 1798 che trapanando i cannoni si produce calore, ma manca una motivazione pratica per teorizzare subito questo fatto.

Lo sviluppo della scienza è condizionato intrinsecamente, fin nei suoi stessi contenuti, dalle esigenze produttive e tecniche. La trasformazione in senso capitalistico del modo di produzione operato dalla borghesia una volta conquistato il potere politico dischiude nuovi ambiti di fenomeni e costruisce una scienza che da un lato deve essere all'altezza dei nuovi compiti pratici che le vengono assegnati, dall'altro deve sanzionare anche a livello ideologico le nuove condizioni materiali, alzando il paravento dell'oggettività scientifica su una realtà che è quella del dominio della classe borghese.

Note

[1] La trasformazione dei rapporti di produzione esige una « accumulazione primitiva », che Marx preferisce chiamare « espropriazione primitiva »: cioè, come poi vedremo, « una serie di processi storici i quali si conclusero con la « dissociazione dell'unità primitiva » che esisteva fra il lavoratore e i suoi mezzi di lavoro » (K. Marx, *Salario, prezzo e profitto*, Editori Riuniti, Roma 1971, p. 71). E' stata sottolineata in tal senso l'importanza di quella che è ormai chiamata la « rivoluzione agricola » per preparare il terreno alla « rivoluzione industriale » vera e propria; si possono vedere i libri di Mori e di Castronovo indicati nella bibliografia, o Bairoch P., *Rivoluzione industriale e sottosviluppo*, Einaudi, Torino 1967.

[2] Newton I., *Ottica*, New York 1952, p. 398.

[3] Ivi, p. 340.

[4] Ivi, libro III, questione 20.

[5] Si può vedere, per esempio, Koiré A., *Dal mondo chiuso all'universo infinito*, Feltrinelli, Milano 1970.

[6] Marx K., *Salario, prezzo e profitto*, cit., pp. 76-77.

[7] Smeaton J., « An Experimental Enquiry concerning the natural powers of water and wind to turn mills and other machines depending on a circular motion », *Philosophical Transactions of the Royal Society, 51*, 123, 1759.

[8] Ivi, pp. 105-06.

[9] Ivi, pp. 124-25.

Guida bibliografica essenziale

Sulla rivoluzione industriale si possono consultare, tra le innumerevoli opere, i due agili saggi di: G. Mori, *La rivoluzione industriale*, Mursia, Milano 1972, e V. Castronovo, *La rivoluzione industriale*, Sansoni, Firenze 1973. Sui paralleli sviluppi della tecnica nei vari campi si possono consultare vari articoli in C. Singer *et al.*, *Storia della tecnologia*, Boringhieri, Torino, vol. IV. Ottimi l'articolo di R.L. Hills e A.J. Pacey, « The Measurement of power in the early steam driven textile mills », in *Technology and Culture*, vol. 13 (1972), e il libro di R.L. Hills, *Power in the industrial revolution*, Manchester Univ. Press, 1970. Sulla scienza accademica in Francia e in Inghilterra si veda: A. Rossi, « Illuminismo e sperimentalismo nella fisica del '700 », *Sapere*, ottobre 1971 e « Fisica francese e fisica inglese nella scienza del '700 », due articoli in corso di pubblicazione su *Scientia*. Sui fermenti culturali durante la rivoluzione industriale inglese è molto stimolante la lettura di A.E. Musson e E. Robinson, *Science and technology in the industrial revolution*, Manchester Univ. Press, 1969.

M. Daumas ha discusso l'introduzione di misure di precisione nella scienza e nella tecnica in un saggio nel libro: A.C. Crombie (Editor), *Scientific change*, Heinemann, London 1963. Ulteriori dettagli su quanto esposto nel presente scritto si possono trovare in, A. Baracca e R. Rigatti, « Aspetti dell'interazione fra scienza e tecnica durante la rivoluzione industriale del XVIII sec. in Inghilterra. 1) La nascita dei concetti di lavoro ed energia. 2) Sviluppi della macchina a vapore », in corso di pubblicazione sul *Giornale di Fisica*.